

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВМЕСТИМОСТИ ЛЭТ
НА ЗАГРУЗКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Леонов Е. А., ст. преп., к.т.н., Клоков Д. В., доц., к.т.н.
Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), lmitlz@belstu.by

**THEORETICAL STUDY OF INFLUENCE OF FOREST ENERGY TERMINAL
CAPACITY ON LOADING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

Leonov E. A., Sen. Lect., PhD., Klovov D. V., Assoc. Prof., PhD
Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article presents a mathematical models of the chippers taking into account raw material reserves. The models are based on the application of queuing theory, probability criteria states. The aim of the theoretical studies was to determine the effect of the capacity of the forest energy terminal on the degree of loading of technological equipment. The developed methodology allows to determine the optimum values of interoperational stocks of raw materials at the forest energy terminal

Исторически сложилось так, что Беларусь зависит от импорта энергоресурсов. Устойчивое ее жизнеобеспечение может быть достигнуто, прежде всего, путем диверсификации производства энергии с максимальным вовлечением местных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а также снижением удельного энергопотребления за счет берегающих мероприятий [1]. Государственные программы по удовлетворению потребностей в тепловой и электрической энергии за счет использования местных ТЭР, реализованные в нашей стране, являются основным движущим фактором развития сектора производства энергии из древесного топлива.

В настоящее время в Беларуси в различных министерствах и ведомствах, а также на частных предприятиях на древесном топливе работают свыше 3000 котлов мощностью от 0,012 до 20 МВт, а также 11 мини-ТЭЦ с установленной электрической мощностью от 1,2 до 4,23 МВт и тепловой мощностью от 6,5 до 16,4 МВт. Ввод в действие Вилейской мини-ТЭЦ (16,0 тыс. т у. т. или 60 тыс. плотных м³ древесины), котельной «Осиповичи» (10,2 тыс. т у. т. или 38,7 тыс. пл. м³ древесины), Белорусской ГРЭС (8,25 тыс. т у. т. или 22,2 тыс. пл. м³ древесины), мини-ТЭЦ ОАО «Мостовдрев» (10 тыс. т у. т. или 38 тыс. пл. м³ древесины), Пинской ТЭЦ (23,1 тыс. т у. т. или 88 тыс. пл. м³ древесины), Пружанской мини-ТЭЦ (22,0 тыс. т у. т. или 83,4 тыс. пл. м³ древесины), Петриковской мини-ТЭЦ (7,0 тыс. т у. т. или 26,3 тыс. пл. м³ древесины), котельной «Россоны» (8,0 тыс. т у. т. или 30,3 тыс. пл. м³ древесины) и других объектов, работающих на биотопливе, требует решения задач не только гарантированного обеспечения их древесным топливом, но и эффективного процесса его производства.

В Беларуси с 2005 г. начала реализовываться стратегия, предусматривающая установку энергоагрегатов с автоматизированной загрузкой, что привело к устойчивому спросу на древесную щепу. В 2016 г. производственные мощности предприятий системы Минлесхоза (основных поставщиков древесного топлива на энергообъекты) составили 5785,7 тыс. м³ древесного топлива, в том числе 1745,8 тыс. м³ топливной щепы.

Предусматривается, что использование древесной биомассы, включая низкокачественную древесину, отходы лесозаготовок и деревообработки, будет играть важную роль в выполнении национальных плановых заданий и позволит довести долю местных ТЭР в балансе котельно-печного топлива до 32% в 2020 г. [2]. В качестве сырья для производства топливной щепы к 2020 г. планируется использовать до 7 млн. м³ дров, 0,5 млн. м³ отходов лесозаготовок, около 1,5 млн. м³ отходов деревообработки.

В Беларуси, как показывает практика, обеспечение устойчивого снабжения энергообъекта сырьем возможно путем создания технологически гибкого лесозаготовительного терминала (ЛЭТ), который наилучшим образом отвечает требованию переработки древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик, возможности его хранения и подготовки к использованию в соответствии с запросами энергообъекта (мини-ТЭЦ) [3, 4].

Под ЛЭТ понимают временное или постоянное техническое сооружение, предназначенное для складирования, измельчения древесной биомассы и бесперебойного снабжения энергообъектов древесным топливом. Отличительными особенностями ЛЭТ являются:

- применение мобильной системы специализированных машин;
- гибкий технологический процесс измельчения сырья, допускающий изменение мест и зон работы машин, хранения сырья и древесного топлива;
- переработка древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик;
- возможность выбора и изменения места расположения ЛЭТ в транспортно-технологической схеме освоения ресурсов сырья в зависимости от конкретных производственных условий;
- возможность разделения ЛЭТ на несколько составных частей;
- возможность функциональной и территориальной интеграции с другими структурными образованиями (лесными складами, биржами сырья, деревообрабатывающими производствами, энергообъектами и др.).

Пример ЛЭТ, интегрированного с лесным складом ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», представлен на рисунке 1. Техническая реализуемость концепции ЛЭТ обеспечена применением мобильной системы машин: сортиментовозов производства ОАО «Минский автомобильный завод»; рубильных машин выпускаемых ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Амкодор»; фронтальных погрузчиков ОАО «Амкодор»; автощеповозов ОАО «Минский автомобильный завод») [3].

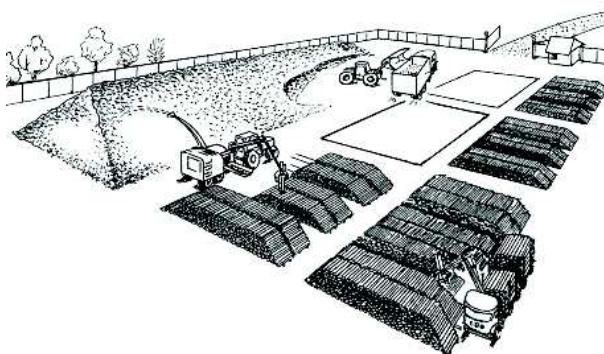


Рисунок 1 – Технологическая схема функционирования ЛЭТ при производстве топливной щепы

Реализация технологических процессов производства топливной щепы в условиях ЛЭТ требует рациональной организации работы применяемых для этих целей машин, в том числе передвижных рубильных машин – основного оборудования в технологической цепочке производства древесного топлива. Рассмотрим модели работы рубильных машин с учетом запасов в условиях ЛЭТ, базирующиеся на теории массового обслуживания.

Для анализа работы на ЛЭТ одной рубильной машины воспользуемся теорией одномошинной лесопромышленной системы с запасом) [5]. Для такой модели характерны следующие состояния: S_0 – рубильная машина технически исправна, но не работает из-за отсутствия сырья либо по другим организационным причинам; S_1 – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, запас пуст; S_2 – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, в запасе одна единица сырья и т. д.; S_{m+1} – рубильная машина осуществляет измельчение древесного сырья, в запасе m единиц сырья (рисунок 2).

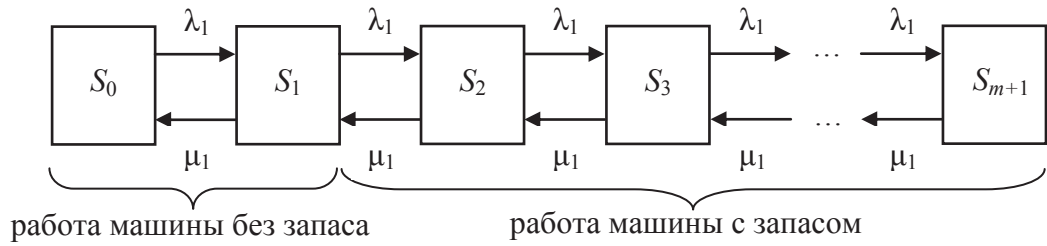


Рисунок 2 – Размеченный граф состояний одномашинной системы с запасом

Здесь λ_1 – интенсивность поступления сырья на измельчение; μ_1 – интенсивность измельчения сырья.

Для одномашинной системы с запасом в общем виде алгебраические выражения для определения значений зависимостей вероятностей состояний оборудования от интенсивностей соответствующих событий равны:

$$P_0 = \left[\frac{1 - \rho_1^{m+2}}{1 - \rho_1} \right]^{-1} = \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1^{m+2}}; \quad P_1 = \rho_1 \cdot P_0; \quad P_2 = \rho_1^2 \cdot P_0; \quad \dots; \quad P_{m+1} = \rho_1^{m+1} \cdot P_0. \quad (1-4)$$

В выражениях (1–4) параметр ρ_1 – коэффициент загрузки рубильной машины, который представляет собой отношение интенсивности подачи сырья на обработку к интенсивности обработки предмета труда:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}. \quad (5)$$

Вероятность работы рубильной машины (коэффициент загрузки во времени), определяется по выражению:

$$P_p = 1 - P_0 = \frac{\rho_1 \cdot (1 - \rho_1^{m+1})}{1 - \rho_1^{m+2}}. \quad (6)$$

При работе одной рубильной машины вероятность простоя лесовозных автопоездов ввиду заполнения площадки ЛЭТ, определяется по выражению:

$$P_{пр} = P_{m+1} = \rho_1^{m+1} \cdot P_0 = \frac{\rho_1^{m+1} \cdot (1 - \rho_1)}{1 - \rho_1^{m+2}}. \quad (7)$$

Для анализа работы на ЛЭТ нескольких однотипных рубильных машин воспользуемся теорией многомашинной лесопромышленной системы с запасом) [5]. Для такой модели характерны следующие состояния: S_0 – рубильные машины технически исправны, но не работают из-за отсутствия сырья либо по другим организационным причинам; S_1 – измельчение древесного сырья осуществляет одна машина, остальные простаивают, запас пуст; S_2 – измельчение древесного сырья осуществляют две машины, остальные простаивают, запас пуст и т. д.; S_n – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, запас пуст; S_{n+1} – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, в запасе одна единица сырья; и т. д.; S_{n+m} – измельчение древесного сырья осуществляют n машин, в запасе m единиц сырья (рисунок 3).

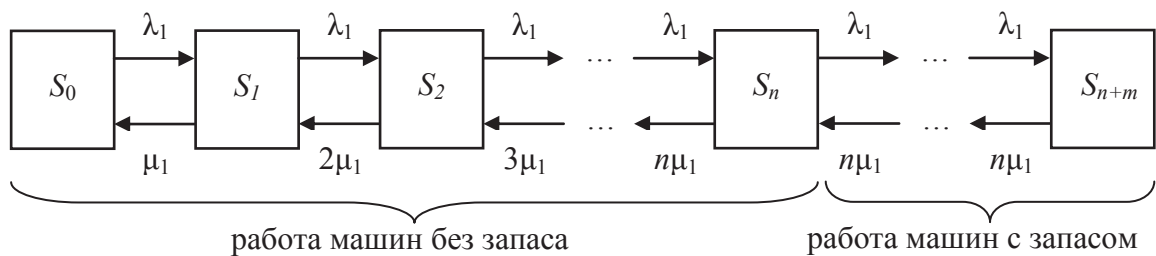


Рисунок 3 – Размеченный граф состояний многомашинной системы с запасом

Для многомашинной системы с запасом в общем виде алгебраические выражения для определения значений зависимостей вероятностей состояний оборудования от интенсивностей соответствующих событий равны:

$$P_0 = \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}; \quad (8)$$

$$P_1 = \frac{\rho_1}{1} P_0; P_2 = \frac{\rho_1^2}{2!} P_0; \dots; P_n = \frac{\rho_1^n}{n!} P_0; P_{n+1} = \frac{\rho_1^{n+1}}{nn!} P_0; P_{n+2} = \frac{\rho_1^{n+2}}{n^2 n!} P_0; \dots; P_{n+m} = \frac{\rho_1^{n+m}}{n^m n!} P_0. \quad (9-14)$$

Вероятность работы всех рубильных машин (коэффициент загрузки во времени), в общем виде определяется по выражению:

$$P_p = P_n + P_{n+1} + P_{n+2} + \dots + P_{n+m} = \frac{\rho_1^n}{n!} \left[1 + \frac{\rho_1}{n} + \frac{\rho_1^2}{n^2} + \dots + \frac{\rho_1^m}{n^m} \right] \cdot P_0 =$$

$$= \frac{\rho_1^n}{n!} \left[\frac{1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right] \cdot \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}. \quad (15)$$

При работе n рубильных машин вероятность простоя лесовозных автопоездов ввиду заполнения площадки ЛЭТ, определяется по выражению:

$$P_{пр} = P_{n+m} = \frac{\rho_1^{n+m}}{n^m n!} \cdot \left[1 + \frac{\rho_1}{1!} + \frac{\rho_1^2}{2!} + \frac{\rho_1^3}{3!} + \dots + \frac{\rho_1^n}{n!} + \frac{\rho_1^n}{n!} \cdot \frac{\rho_1 - \left(\frac{\rho_1}{n}\right)^{m+1}}{1 - \frac{\rho_1}{n}} \right]^{-1}. \quad (16)$$

На рисунках 4 и 5 приведены теоретические исследования влияния величины межоперационного запаса сырья на вероятности загрузки рубильных машин и простоя автопоездов при работе одно- и многомашинных систем.

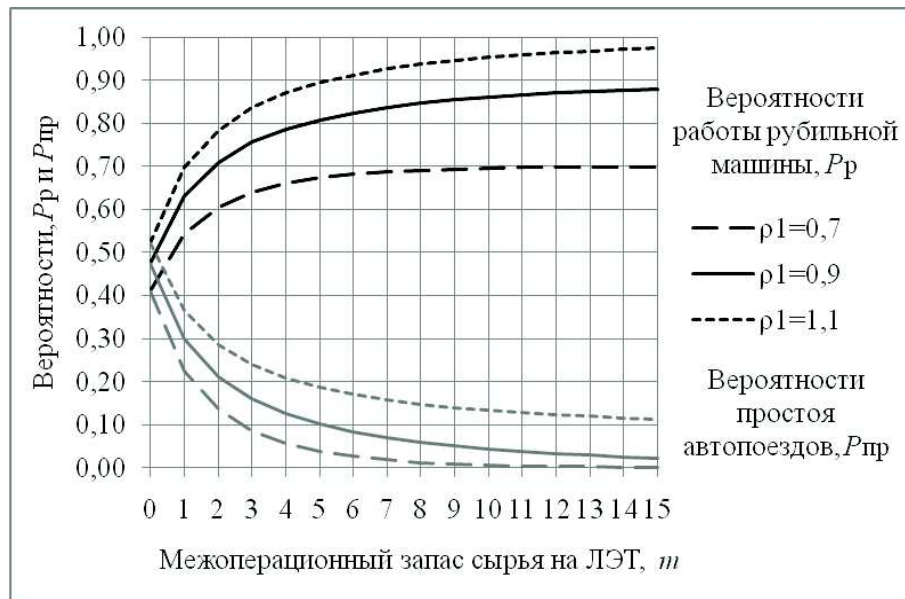


Рисунок 4 – Зависимости вероятностей работы рубильной машины и простоя автопоездов от величины межоперационного запаса сырья на ЛЭТ

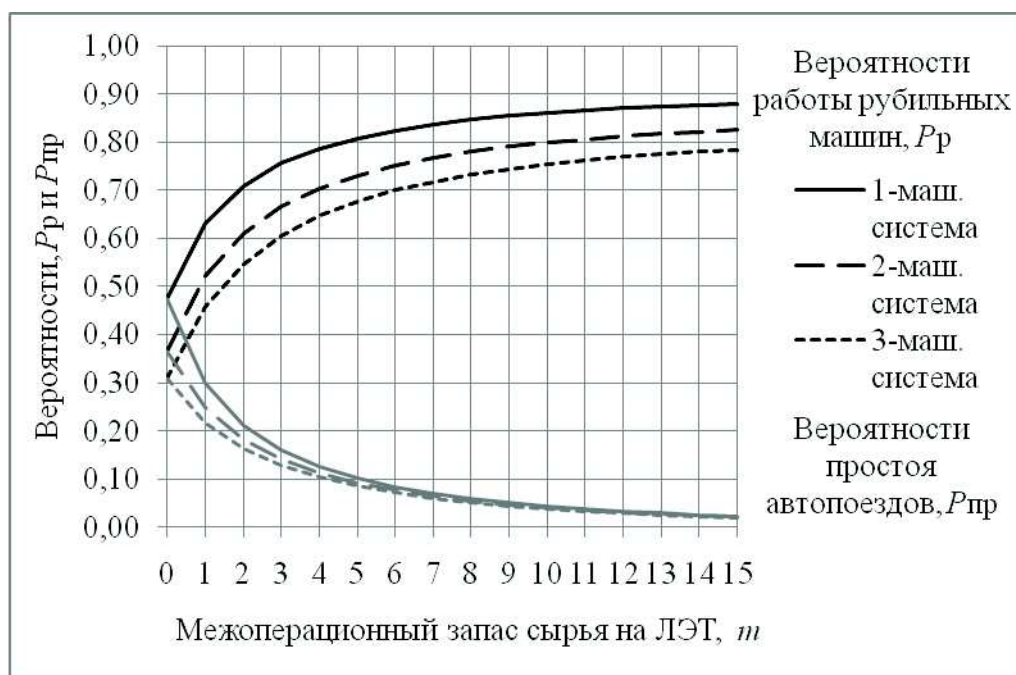


Рисунок 5 – Зависимости вероятностей работы рубильных машин и простоя автопоездов от величины межоперационного запаса сырья на ЛЭТ

На основании проведенных теоретических исследований установлено, что применение многомашинных систем в условиях ЛЭТ приводит к снижению простоя лесовозных автопоездов, обеспечивающих терминал древесным сырьем. В частности, при незначительных межоперационных запасах сырья на ЛЭТ использование трех рубильных машин снижает вероятность простоя автопоездов до 34% в сравнении с использованием одномашинной системы данного оборудования. При этом указанный параметр нивелируется с увеличением величины межоперационного запаса древесного сырья.

В тоже время применение многомашинных систем снижает загрузку основного технологического оборудования по измельчению древесного сырья. В частности, с увеличением количества рубильных машин на ЛЭТ от одной до трех снижает вероятность их одновременной работы на 11-34%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 10.05.2011, № 586. – Минск, 2011. – 36 с.
2. Леонов Е. А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 89–93.
3. Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Лесоэнергетические терминалы: оптимизация параметров // Лесное и охотничье хозяйство. 2012. № 9. С. 10–15.
4. Кулак М. И., Федоренчик А. С., Леонов Е. А. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесоэнергетических терминалов // Наука и инновации. 2012. № 7 (113). С. 69–72.
5. Игнатенко, В. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок: учеб. пособие для студентов специальности «Лесоинженерное дело» / В. В. Игнатенко, И. В. Турлай, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2004. 180 с.
6. Редькин, А. К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: учеб. для вузов / А. К. Редькин. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. 256 с.